

# **Wissensbasierte Tragwerksplanung im Ingenieurholzbau mit ICAD**

## **1 Einleitung - Planung einfacher Tragwerke**

Der Entwurf einfacher Konstruktionen stellt für den Tragwerksplaner zumeist eine Routineaufgabe dar, die unter Ausnutzung einer gewissen Berufserfahrung sowie leistungsfähiger Anwendungssoftware gelöst werden kann. Üblicherweise werden für die Bemessung gezielt ausgewählte Statikprogramme mit feststehenden Algorithmen verwendet, für die Erstellung der Bauzeichnungen kommt eine Reihe leistungsfähiger CAD-Programme zum Einsatz. Häufig werden Statik, Zeichnungen und Elementelisten völlig separat voneinander erstellt. Damit bleibt die Tragwerksplanung ein zeit- und wissensintensiver Prozeß.

Ziel eines Ingenieurs muß es deshalb sein, diese Teilaufgaben so effektiv wie möglich zu gestalten und sämtliche Routinearbeiten dem Computer zu überlassen. Für die weitere Umsetzung der CAD-Daten zur Produktherstellung sorgen im Holzbau bereits moderne Abbundanlagen und CNC-Maschinen.

Das Programmsystem ICAD ist in der Lage, durch Kombination der o.g. Arbeitsschritte den Entwurf von Konstruktionen zu steuern und Daten für die CAD-gerechte und weitere Verarbeitung bereitzustellen. Konstruktionsprobleme lassen sich einfacher und genauer beschreiben als in herkömmlichen Programmiersprachen mit entsprechenden Grafik-Schnittstellen. Vorüberlegungen zur Reihenfolge bestimmter Eingaben und Abfragen entfallen, da die Auswertung dem Computer überlassen wird.

Ein nächster geplanter Schritt zur wissensbasierten Tragwerksplanung besteht in der Einbindung der sogenannten Multi-Criteria-Analyse in das Anwendungsprogramm. Hierbei ist das Programm in der Lage, anhand von zuvor durch den Anwender aus einem Konstruktionskatalog ausgewählten oder festgelegten Wichtungen bestimmter Entscheidungskriterien (Preis, Montierbarkeit, Dauerhaftigkeit bestimmter Bauelemente usw.) selbständig die optimalen Konstruktionsvarianten zu ermitteln und weiter zu bearbeiten. Dem Ingenieur steht damit ein Werkzeug zur Verfügung, welches Kriterien auf unterschiedlicher Datenbasis analysiert, ungeeignete Konstruktionen eliminiert und eine oder mehrere objektiv günstige Lösungen anbietet. Die Anwendung dieses Verfahrens setzt allerdings eine sorgfältige Erfassung und Aufbereitung aller wesentlichen Entscheidungsparameter voraus, womit für die Programmierung zunächst der Erfahrungsschatz eines Tragwerksplaners zugrunde gelegt werden muß.

Die hier beschriebenen Prinzipien der Tragwerksplanung umreißen die existierenden oder gewünschten Vorgehensweisen von der Aufgabenstellung bis zum fertigen Projekt nur grob. Ebenso erfolgt die nachfolgende Vorstellung des Programmsystems ICAD aus der Sicht des Bauingenieurs und nicht des Informatikers. Es soll prinzipiell gezeigt werden, welche Möglichkeiten ICAD als Werkzeug und Programmieroberfläche für die Erstellung

wissensbasierter Anwendungsprogramme für den Ingenieurholzbau bietet und mit welcher Effizienz Baukonstruktionen auf diese Weise projiziert werden können.

## 2 Möglichkeiten der Programmierung mit ICAD

ICAD ist ein Akronym für Intelligent Computer Aided Design. Das Programm ermöglicht eine rechnergestützte Tragwerksplanung mit gleichzeitiger Umsetzung der Ergebnisse in die zeichnerische Darstellung. Der Anwender ist so in der Lage, die Auswahl, Bemessung und räumliche Zuordnung von Konstruktionselementen gezielt zu steuern und zugleich visuell nachzuvollziehen.

Im Programmsystem ICAD werden die verschiedenen Arbeitsschritte wie folgt kombiniert:

- Die Bemessung und Dimensionierung eines Tragwerksteils hat Einfluß auf die erforderlichen Abmessungen und Einbaugegebenheiten benachbarter Tragwerksteile.
- Für die zu planenden Bauteilgruppen (z.B. Binder, Pfetten, Anschluß Pfette-Binder ...) steht innerhalb eines Programmes immer eine Reihe von Systemen zur Auswahl.
- Die anhand der Eingaben dimensionierten Tragwerksteile werden sofort visualisiert.
- Nachträgliche Änderungen eines Parameters (z.B. Schneelast, Binderabstand ...) werden gemäß der programmierten Verknüpfungen auch auf alle anderen betroffenen Tragwerksteile übertragen, d.h. sämtliche zuvor ermittelten Bauteilabmessungen werden automatisch überarbeitet und ggf. verändert.
- Eine Weiterverarbeitung der Daten mit spezialisierten CAD-Programmen (Auto-CAD, CATIA ...) ist möglich, d.h. es existieren entsprechende Ausgabe-Schnittstellen.

Das ICAD-System basiert auf einer objektorientierten Konstruktionsprache, welche eine strukturierte Beschreibung von Bauteilen ermöglicht. Unter anderem stehen zur Verfügung:

- *Objektklassen*: enthalten Definitionen und Konstruktionsvorschriften für Bauteile mit gleichen grundlegenden Eigenschaften
- *Baumstruktur*: unterstützt logische Aufteilung der Produkte oder Baugruppen in Untergruppen und Einzelteile sowie „Vererbung“ von Informationen
- *variable Bauteile*: konkrete Struktur und Geometrie werden erst über innerhalb der Baumstruktur vererbte Eingabewerte erzeugt
- *Mixins*: häufig verwendete Bauteil- oder Objektbeschreibungen, Bemessungsvorschriften oder auch Kataloge feststehender Eigenschaften und Kennwerte können bei Bedarf Objekten „zugemixt“ werden; die Mixins können ähnlich einer Datenbank für mehrere Aufgaben innerhalb des Entwurfsprozesses zur Verfügung stehen.

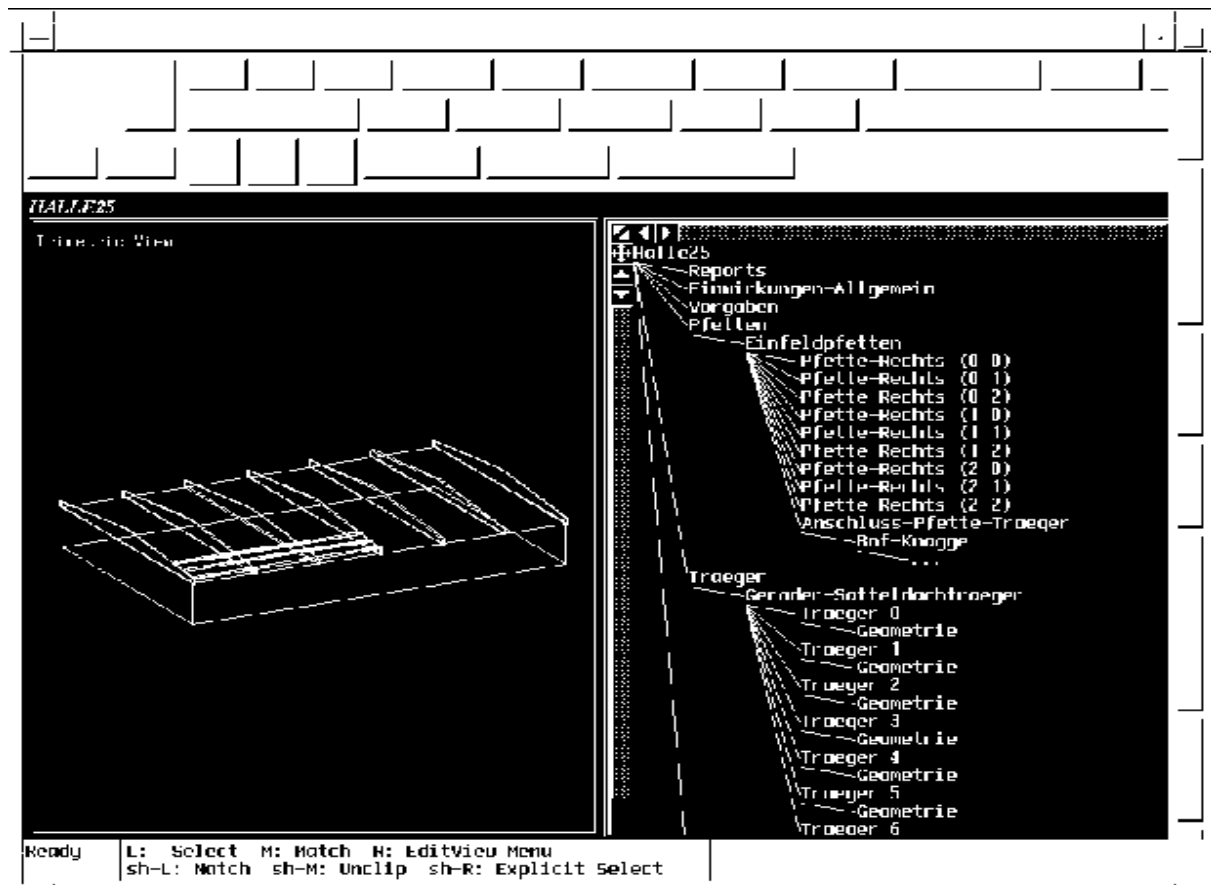
Die Programmieroberfläche auf der Unix-Workstation besteht aus einem Editorfenster (Emacs) zur Erzeugung des Quelltextes und einem Browserfenster (ICAD User Interface) als Testumgebung für die grafische Darstellung. Als Programmiersprache findet die auf Common-Lisp basierende ICAD Design Language (IDL) Anwendung.

Im Browser wird nach Compilierung des Quelltextes eine sogenannte Ausprägung der Bauteile (zeichnerische Darstellung) sowie eine Auflistung der Produktstruktur (Namen und Verknüpfungen der programmierten Objekte) vorgenommen. Weiterhin stehen verschiedene Werkzeuge innerhalb dieser Arbeitsumgebung zur Verfügung, z.B.:

- Darstellungsform des Tragwerkes: räumlich oder als Ansicht
- mehrere Darstellungen gleichzeitig möglich
- Zoom-Funktion ohne Maßstabsbegrenzung
- Darstellung ausgewählter einzelner Tragwerksteile

Daneben gibt es einige Instrumente zur Fehlersuche, wie:

- Inspektor: Auflistung aller einem Objekt zugeordneten Konstanten, Variablen (ggf. mit zugewiesenem Wert) und der eingebundenen Unterprogramme
- Blinkfunktion: Hervorheben von Einzelteilen bei unübersichtlichen komplexen Systemen durch Blinken (sinnvoll einsetzbar zur Überprüfung des programmierten Quelltextes)



**Bild 1** Typisches Browserfenster mit der temporären ICAD-Arbeitsumgebung

Da für die Tragwerksplanung i.d.R. auch Informationen wie Statik, Bauteilbeschreibungen oder Produktlisten von Bedeutung sind, bietet ICAD die Möglichkeit sogenannter *Reports*. Diese Reports sind programmierte Textausgaben von bearbeiteten Bauteilen, Materialien, Lasten u.ä., welche in einem separaten Fenster nach Bedarf erstellt und ggf. ausgedruckt werden können.

Zur Gestaltung der Eingaben steht eine Reihe von Standardfenstern zur Verfügung, die im Browser gemäß Programmfortschritt eingeblendet werden. Im ersten Fenster (höchste Priorität) werden die sogenannten *Top Level Inputs* vorgenommen, in denen grundsätzliche Angaben zum Gesamttragwerk und seinen Umgebungsbedingungen oder auch globale

Festlegungen zum Bearbeitungsumfang getroffen werden können. Desweiteren sind verschiedene Auswahl- oder Eingabefenster verfügbar.

Ein wesentlicher Vorteil von ICAD besteht darin, daß aufgrund der modularen und strukturierten Programmierweise Objekte (z.B. Bauteile) separat erstellt und getestet werden können. So lassen sich bestehende Anwenderprogramme schrittweise erweitern. Dazu muß das neue Bauteil nur:

- benötigte Parameter importieren (z.B. Lasten und Einbaubedingungen aufgrund benachbarter Bauteile) und ggf. an eigene untergeordnete Bestandteile Daten weitergeben, die wiederum als Modul mit gleichem Datenstromprinzip funktionieren, sowie
- Angaben zu seiner Einbauposition erhalten.

Auch reine Datenmixins (z.B. neue Materialsorten) lassen sich problemlos hinzufügen und bei den in Frage kommenden Bauteilen einbetten.

### **3 Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen von ICAD bei der Tragwerksplanung**

Obwohl die Erweiterung eines bestehenden mit ICAD erstellten Anwendungsprogrammes offensichtlich sehr effizient vorgenommen werden kann, sollte doch ein im wesentlichen überschaubares und abgegrenztes Tragsystem als Bearbeitungsgegenstand ausgewählt werden. Dafür spricht die Tatsache, daß vor der eigentlichen Tragwerksplanung schon relativ konkrete Vorstellungen über die Art der Konstruktion bestehen (z.B. Haus- oder Hallendach, rechteckiger oder vieleckiger Grundriß, Skelett- oder Tafelbauweise ...) und sich somit Anwendungskomplexe anbieten.

Eine wesentliche Bedeutung kommt der Programmwartung hinzu, da nur eine zeitgemäße Wissensbasis den Praxisanforderungen gerecht wird. Hier zählt sich eine transparente und modulare Programmierung aus. Bei komplexen Programmen ist dies Aufgabe eines Wissensingenieurs.

### **4 Anwendungsbeispiele von ICAD im Holzbau**

Am Institut für Baukonstruktionen und Holzbau der TU Dresden wurden als erster Ansatz für die rechnergestützte Lösung von Entwurfsaufgaben bisher zwei Projekte in Angriff genommen: ein Wintergarten aus Glas und Holz sowie eine Hallenkonstruktion unter Verwendung von Satteldachträgern aus Brettschichtholz.

#### Wintergarten

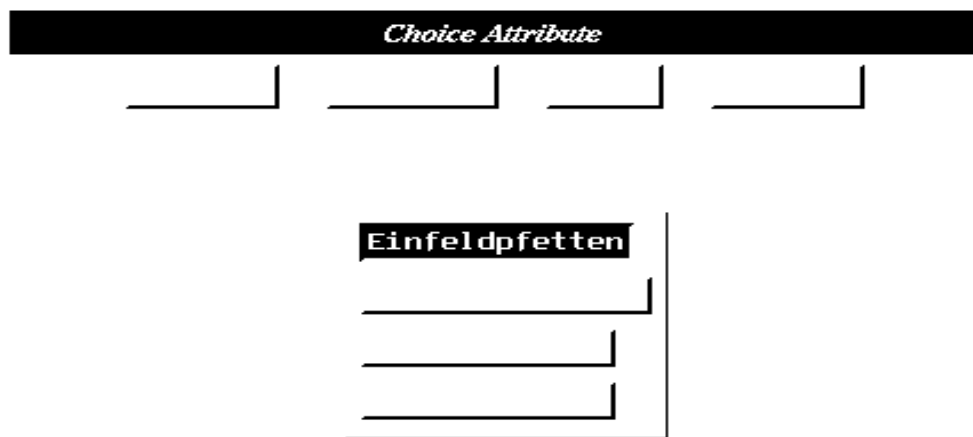
Ziel einer Beleg- und Diplomarbeit war es, für ein reales Projekt die vollständige Modellierung und Parametrisierung unter Verwendung von ICAD durchzuführen. Dabei wurden für die Fassadenstützen und Dachträger einteilige Holzquerschnitte zugrunde gelegt, für die Ausbildung des gelenkigen Anschlusses zwischen ihnen standen verschiedene Konstruktionslösungen zur Verfügung (halbsteife Rahmenecke; eingelassenes Stahlblech + Paßbolzen; Nagelplatten; Simplexverbindung).

#### Standardhalle

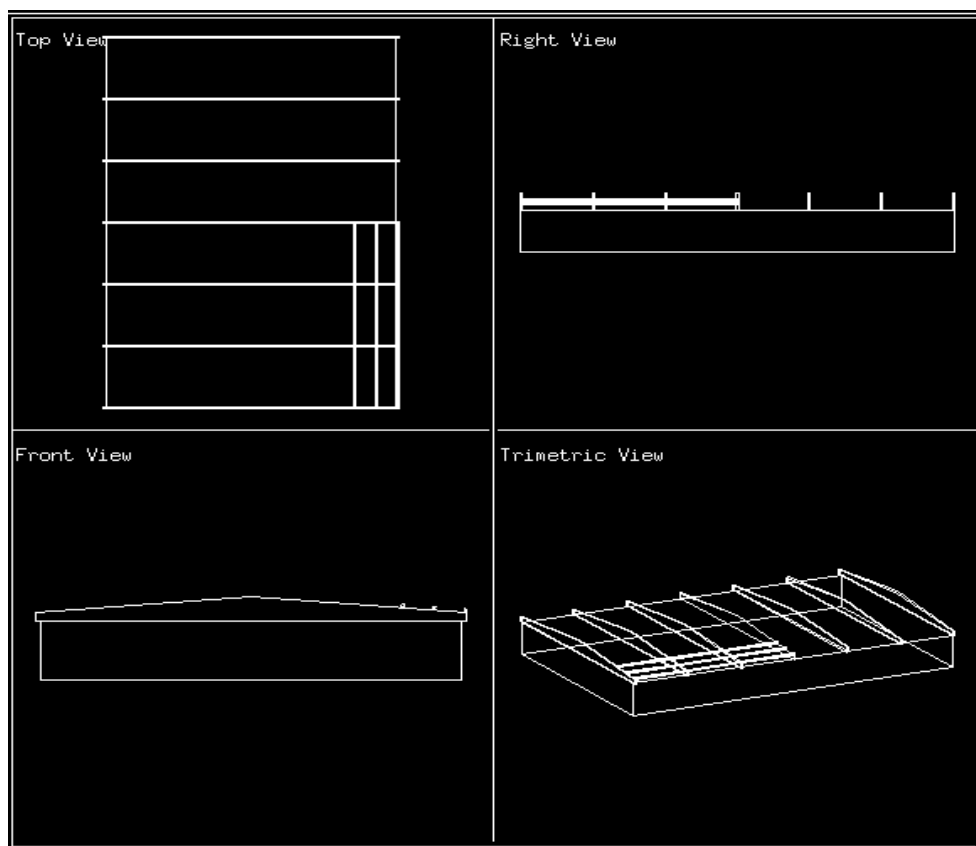
Dieses Programm dient dazu, die Tragelemente einer Halle mit rechteckförmigem Grundriß zu bemessen. Als Konstruktionselemente stehen u.a. verschiedene Dacheindeckungen,

Sparrenpfettensysteme, Satteldachbinder aus Brettschichtholz und Stützen zur Auswahl. Das Programm enthält ebenfalls Lösungen für die erforderlichen Anschlüsse zwischen den Elementen. Ein vorheriges Auswahlfenster ermöglicht eine Eingrenzung der darzustellenden Elemente.

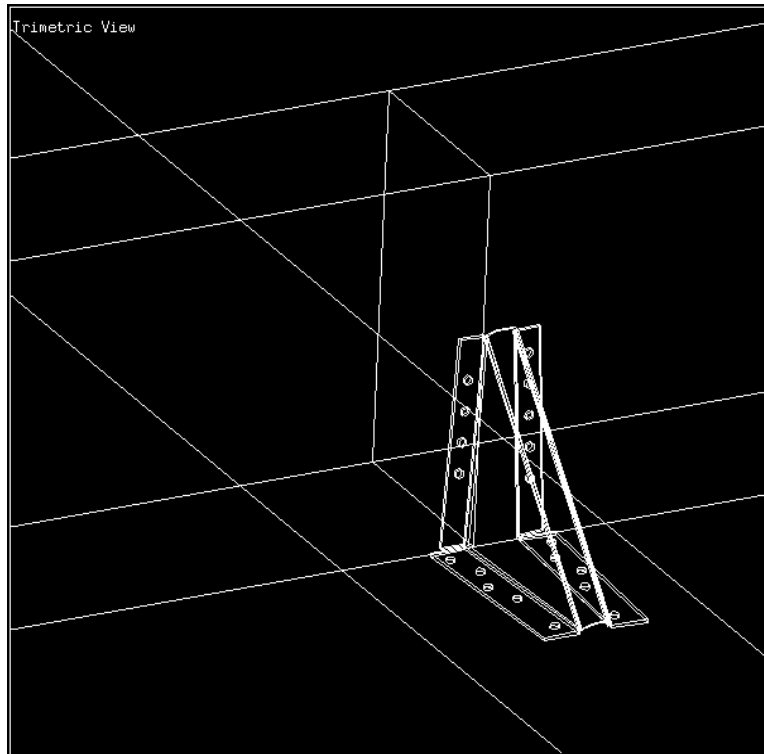
Die nachfolgenden Bilder des Projektes Standardhalle demonstrieren die Umsetzung von Eingaben und Darstellungen.



**Bild 2** Auswahl eines Pfettensystems



**Bild 3** Darstellung des gewählten und bemessenen Gesamttragwerkes in verschiedenen Ansichten

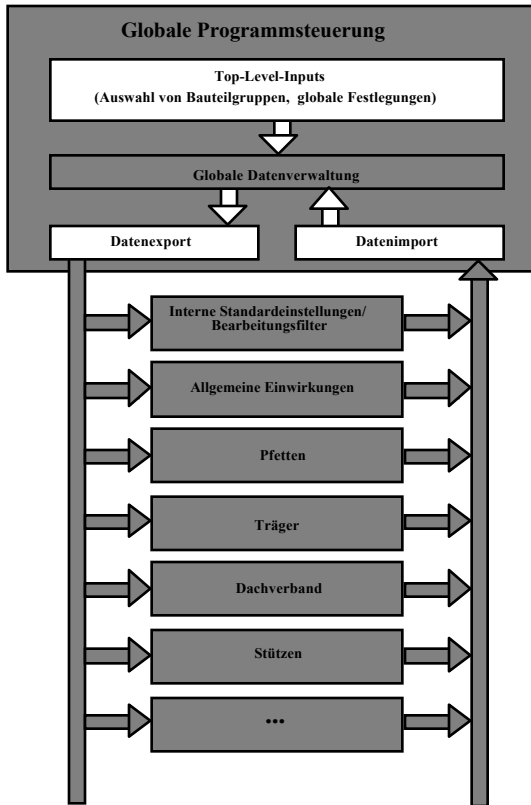


**Bild 4** Darstellung eines herausgezoomten Bereiches

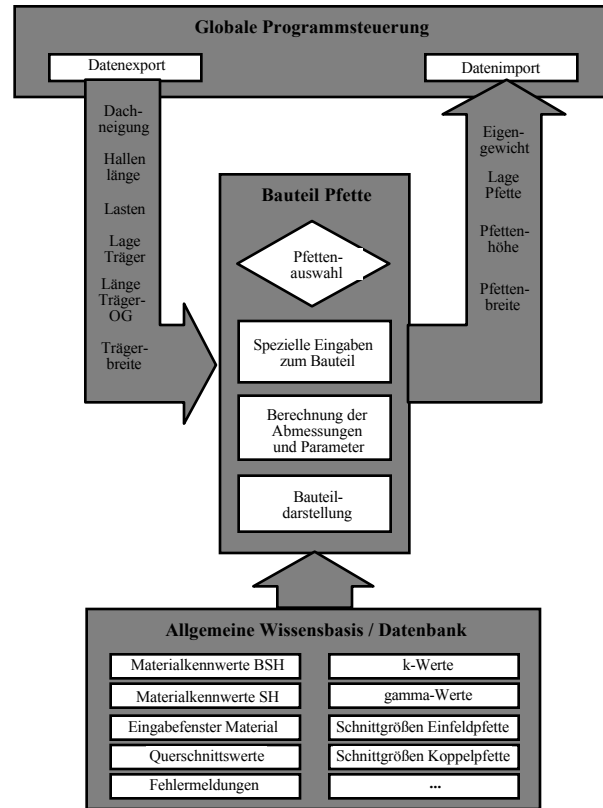
Wie auch bei anderen Programmiersprachen geht das Bestreben dahin, abgegrenzte Bearbeitungsmodule zu schaffen und den Datenfluß überschaubar zu gestalten. In ICAD können innerhalb eines solchen abgegrenzten Moduls (defpart) folgende Strukturen genutzt werden:

- *inputs*: von anderen Modulen importierte Parameter
- *attributes*: Wertzuweisungen der Parameter des Moduls, d.h. intern für Konstanten, über Eingabefenster für Variablen
- *parts*: eigentliche Bauteile oder Baugruppen, die Ebenen der Produktstruktur repräsentieren; enthalten geometrische Befehle zur Visualisierung.

Die Strukturierung erfolgte beim Programm Standardhalle über gleichartig aufgebaute Bauteilmodule mit Datenfluß zur globalen Programmsteuerung (s. **Bild 5**). Daten der allgemeinen Wissensbasis werden nach Bedarf eingebunden (s. **Bild 6**)



**Bild 5** Globale Programmsteuerung und Struktur beim Programm Standardhalle



**Bild 6** Schematischer Datenfluß und allgemeiner Modulaufbau am Beispiel der Pfetten

## 5 Zusammenfassung

Die einheimische und verstärkt auch die europäische Bauindustrie fordern eine immer effizientere Planung und Ausführung von Bauwerken. Für häufig angewandte und bewährte Tragwerke bietet sich die Nutzung von wissensbasierten Systemen an, welche in der Lage sind, umfangreiche Planungsaufgaben zu übernehmen. Mit dem Programmsystem ICAD können diese und vielfältige andere Ingenieuraufgaben gelöst werden. Vorzugsweise werden abgegrenzte Problemklassen behandelt, bei denen sich die Gesamtlösung aus einer Reihe zu bearbeitender Einzelkomponenten ergibt und eine detailgetreue zeichnerische Darstellung benötigt wird. Über dialoggesteuerte und bedarfsgerechte Erfassung der Eingabewerte ist eine schnelle Erstellung von Zeichnungen und Textausgaben möglich. Sämtliche Auswirkungen am Gesamtsystem, die durch Veränderungen von Eingabewerten eintreten, werden programmintern automatisch bei allen betroffenen Bauteilen berücksichtigt (z.B. Neubemessungen oder ggf. Einbindung anderer Baugruppen). Die Programmierung erfolgt modular und ist jederzeit erweiterbar.

### Literatur:

- Einführung in die IDL; Trainingshandbuch; Concentra Corporation, Cambridge, Massachusetts.

- Hamann, Martin: Entwicklung eines wissensbasierten Entwurfswerkzeuges für die Konzeption von Wintergärten aus Holz. Dipl.-Arbeit TU Dresden 1995.